

双ロール式連続鑄造の基礎的研究

著者	姜 忠 吉
号	1059
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/9795

氏 名	Kang 姜	Chung 忠	Gil 吉
授 与 学 位	工	学	博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻		
学 位 論 文 題 目	双ロール式連続鑄造の基礎的研究		
指 導 教 官	東北大学教授 北條 英典		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 北條 英典	東北大学教授 阿部 博之	
	東北大学教授 井川 克也	東北大学助教授 斎藤 武雄	
	東北大学助教授 加藤 康司		

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

最近, 省プロセスおよび省エネルギー化を計るため, 連続鑄造一圧延工程の短縮, 省略および連続化が指向されてきたが, さらに, 最終製品に, より近い薄板を溶鋼から直接製造する方法が注目されてきている。連続鑄造による鋼の薄板製造方法の中で最も有望な方法として双ロール式連続鑄造があるが, 現在において必要な基礎知識は確立されていない。

双ロール式連続鑄造の実用化のためには

- [1] 鑄片が安定した条件で連続的に鑄造されること,
- [2] 鑄片の表面と内部の組織および表面粗さが設計どおりであること,

の二つの条件を満たさなければならない。

鑄造における凝固過程および鑄造における鑄片内部のひずみ分布は, 鑄片の形態, ブレークアウト, 凝固組織, 表面粗さなどに関係する重要な要素であり, 第一に明らかにされなければならない。しかし, 実験室において鋼の連続鑄造実験を行うことは困難である。また, 双ロール式連続鑄造は今後非鉄金属にも広く用いられる可能性がある。そこで, 本研究においては双ロール式連続鑄造における鑄片の可能な諸形態, 鑄片表面のひずみ分布およびブレークアウトの条件, 鑄片の凝固殻プ

ロフィル、冷却速度などを理論と実験により明らかにするためにモデル材料を導入する。モデル材料としては低融点合金を使用する。これらの低融点合金による実験結果を理論的に説明することができれば、その理論は同様な条件下の他の金属の連続鋳造へも応用可能であり、連続鋳造の発展に大きく寄与すると考えられる。

すなわち3種類のモデル材料についてそれぞれ双ロール式連続鋳造における鋳造特性を明らかにする。得られた実験結果について凝固殻プロフィールとブレイクアウトを説明するための理論を導き、数値計算を行う。また、モデル材料を用いて得られた実験と理論の結果に基づき、双ロール式連続鋳造による鋼の薄片鋳造条件を確立した。

第2章 鋳片の鋳造状態の分類

双ロール式連続鋳造についてのこれまでの研究は、いずれも凝固組織、冷却速度および機械的性質についての報告であって、鋳造条件に対する鋳造可能領域や鋳片の形態については報告されていない。

本章では、双ロール式連続鋳造実験装置(図1)を試作し、モデル材料(Sn-15%Pb, Sn-37%Pb, U-ALLOY)を用いた連続鋳造実験によって鋳造時における鋳片の形態と鋳造条件を検討し、下記の事項を明らかにした。

〔1〕鋳造状態は、鋳片の形態に応じた表面良好、中央剥離、表面横割れ、板幅中央割れの4種類、および、ブレイクアウト、過大圧下力の計6種類に分類される。

〔2〕良好な鋳片を得るための鋳造可能領域がロール隙間とロール回転数に対して存在する。圧下力はロール隙間とロール回転数の増加にともない低下する。

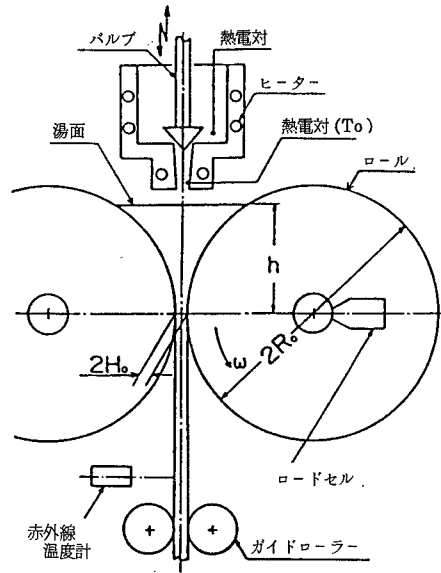


図1 実験装置の概略図

第3章 二次元凝固解析および実験との比較

無欠陥鋳片の連続鋳造には、凝固殻プロフィールの制御が重要である。凝固殻プロフィールは主にロール角速度、ロールの隙間、および溶湯温度によって決定されるが、なかでも凝固完了点の位置を明らかにすることはブレイクアウトや過大圧下力を予測し、安全かつ最適な条件の認定の決め手となると考えられる。

これまでの凝固解析は液相の伝熱を無視した一次元解析であり、液相伝熱を考慮した本格的二次元解析手法は未だ提示されていない。そこで本章では、凝固界面および境界面の双方を、独立変数を用いて固定する境界固定法によって二次元凝固解析を行う手法を提示するとともに、凝固殻プロフィール、完全凝固位置の解析結果を示した。さらに、モデル材料を用いた実験との比較により解析

の妥当性を検討した。得られた主な結果は次のとおりである。

〔1〕連続鋳造中の溶湯内の温度分布を初めて測定し、固相線、液相線、および完全凝固位置が明らかになった。

〔2〕液相部分の伝熱を考慮した温度分布の二次元解を初めて提示した。その解は一次元解や、液相部分の伝熱を無視した解に比べはるかに良く実験値と一致する(図2)。

〔3〕凝固殻プロファイルはロール回転数によって大きく変化するが、ロール隙間による変化は小さい。

第4章 ブレークアウトの解析

第2章の鋳造状態の分類で示したようにロール隙間に対し、凝固殻の成長が遅いか、凝固殻同志の圧縮に伴い凝固殻表面に割れが生じる場合は、鋳片が破断して落ちてしまうブレークアウトが生じる。このようなブレークアウトは双ロール式連続鋳造時に発生するトラブルの中でもっとも大きな障害の一つであるが、これまでその発生条件は、明らかにされていなかった。そこでブレークアウトの発生条件を推算するための数学的モデルを導入し、ブレークアウトの発生限界ひずみとひずみ速度を明らかにした。すなわち、まずU-ALLOYの応力、ひずみ、ひずみ速度、温度の関係式を引張り実験によって求め、ついでその材料特性を用いて、ブレークアウト条件下の鋳片表面のロールの出口部に対して求めた理論的最大引張りひずみとひずみ速度の値が、引張り試験により求められた破断時のひずみとひずみ速度の値に非常に近いことを初めて明らかにした。これはブレークアウト開始条件として妥当と考えられる。このことより、本研究において導入した鋳片の変形のモデルおよび鋳片表面のひずみとひずみ速度を求める解法は、ブレークアウトの条件を予測するのに有効であると言える。

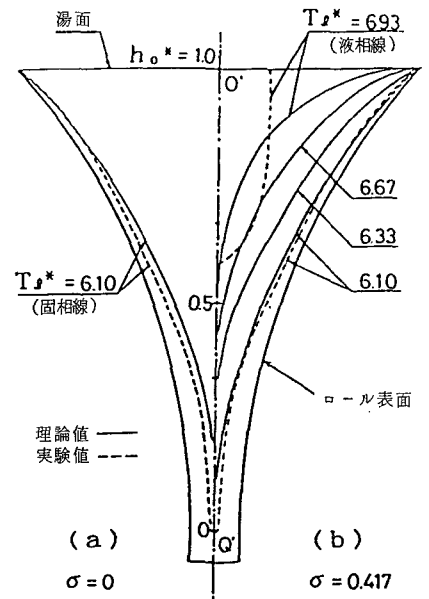


図2 凝固殻プロファイルおよび液相内の等温線
($2H_o^*=0.073$, $P_{e,s}=47.2$, $T_o^*=7.1$)

第5章 鋳片の機械的性質と鋳造条件の関係

均一な形状の鋳片が得られるようにプロセスを改良及び制御することに加えて、薄板の機械的性質を支配する鋳片の硬さ分布、凝固組織、および冷却速度に及ぼす鋳造条件の影響を明らかにしておくことが基本的に重要である。

そこで本章では鋳片断面の硬さ分布を測定し、それに対応する凝固組織を調べた。また、二次元凝固解析による鋳片断面の冷却速度の理論的推算を行い、これらの結果に基づいて双ロール式連続鋳造における鋳片の特性を検討した。その結果、Sn-15%Pb, U-ALLOYの鋳片断面内部の厚さ方向の硬さは表面近傍を除けば比較的均一であり、鋳片表面の硬さは断面中心の硬さの、1.1～1.3倍であることがわかった。この中で、鋳片断面硬さ分布は理論計算による冷却速度分布と定性

的に対応していることを初めて明らかにした(図3)。

第6章 鋼の双ロール式連続鑄造条件

本章では第3章で示した液相の伝熱を考慮した数学的モデルに基づいて、鋼の薄板作製のための連続鑄造条件を検討した。すなわち、板厚1mm～10mmのステンレス鋼の薄板を双ロール式連続鑄造によって作製する場合、例えば板厚4mmの場合は直径400mmの水冷ロールを18rpm(約1.9rad/sec)で回転させ、板厚10mmの場合には直径400mmの水冷ロールを5rpm(約0.5rad/sec)で回転させる必要があることなど、具体的鑄造条件を初めて定量的に与えた。

第7章 結 論

本章では本論文の総括として各章の結論をまとめている。

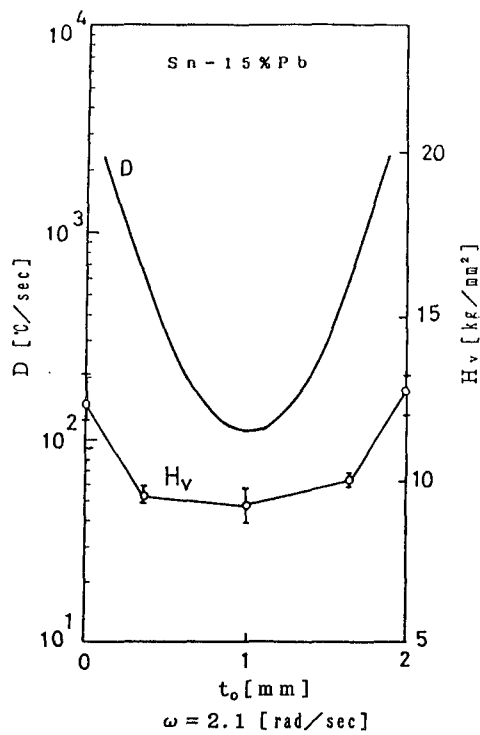


図3 冷却速度と硬さの関係

審 査 結 果 の 要 旨

連続鋳造による鋼の薄板製造法として双ロール式連続鋳造法が有望視され、その開発が急がれている。しかし、これに必要な基礎知識は極めて乏しい状況にある。本論文は低融点合金をモデル材料として双ロール式連続鋳造の実験を行い、凝固過程および鋳片の機械的性質と鋳造条件との関係を詳細にしらべ、理論解析結果と対比するとともに、その結果に基づいて鋼薄板の適正鋳造条件に関する指針を与えたもので、全編 7 章から成る。

第 1 章は序論である。

第 2 章では試作した双ロール式連続鋳造実験装置で 3 種の低融点合金（Sn-15%Pb, Sn-37%Pb および U-Alloy）をモデル材料とした実験を行い、鋳片の形態によって鋳造状態が 6 種類に分類されること、良好な鋳片を得るための鋳造可能領域が、ロール隙間とロール回転数に対して存在することなどの有用な知見を得ている。

第 3 章では鋳造中の溶湯および鋳片内部の温度分布を連続的に測定する方法を考案し、初めて測定している。それと並行して、鋳造現象の理論的解明のため、固・液両相の伝熱を考慮した二次元凝固解析手法を提案し、さきの測定結果と対比して本解析法の妥当性を検証し、鋳造パラメータの凝固殻生成および完全凝固位置に及ぼす影響を明らかにしている。これは適正鋳造条件の決定を可能とする重要な知見である。

第 4 章ではブレイクアウトの条件を、鋳片の変形解析により理論的に考察している。すなわち、導入した変形モデルの解析により求められたロール出口部における理論的最大引張りひずみとひずみ速度が、材料の引張り実験により求められた破断時のそれと非常に近いことが初めて示されている。このことより、導入した鋳片の変形モデルおよびひずみとひずみ速度の解法は、ブレイクアウトの条件を予測するのに有効であると言える。

第 5 章では得られた鋳片の機械的性質として硬さ分布を測定し、これと鋳片の凝固組織および冷却速度との関係を検討している。すなわち、Sn-15%Pb の場合、鋳片表面の硬さは断面中心の硬さの 1.1～1.3 倍であること、また鋳片断面の硬さ分布は理論計算による冷却速度分布とよく対応していることを初めて明らかにし、組織制御が可能であることを示している。

第 6 章では、以上の実験および理論解析手法に基づいて、鋼の薄板製作のためのロール直径、ロール回転数およびロール隙間の具体的な値を与えている。ステンレス鋼の場合、板厚がたとえば 4 mm のとき、直径 400 mm の水冷ロールを約 18 rpm で回転させる必要があることなど有用な情報を与えている。

第 7 章は結論である。

以上要するに本論文は、双ロール式連続鋳造法の鋳造可能条件を明らかにし、これを実現するための重要な知見を与えたもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。